

комендациям ЕКБ-ФИП по формуле $\varepsilon_{bR} = 0,0007 R_b^{0,31}$ [3]. Подоб-
 ранный таким образом параметр ε_{bu} , при котором изгибающий мо-
 мент достигает наибольшего значения, может приниматься за критиче-
 ские фибровые (краевые) деформации ε_{bu} , соответствующие пре-
 дельному состоянию сечения. Эти деформации позволяют реализовать
 полную трансформированную диаграмму деформирования, а также
 аналитически устанавливают критическую форму эпюры напряжений
 $\sigma_b(\varepsilon_{bx})$ сжатой зоны бетона [1]. Для такой эпюры можно вычислить
 y_o – координату ее центра тяжести относительно нейтральной оси
 сечения, $y_o = M_b / N_b$. Затем определяется плечо внутренней пары
 сил (расстояние между равнодействующими в сжатом бетоне и растя-
 нутой арматуре) по расчетной схеме (рисунок, б), $Z_b = y_o + h_o - x_R$.
 После этого можно найти эксцентриситет ε_{oR} согласно формуле (1).

Использование критического эксцентриситета при оценке проч-
 ности сечений сжатых элементов и сравнение таких результатов с дан-
 ными экспериментов, полученными другими авторами, показывает
 удовлетворительную сходимость. Это позволяет рекомендовать на-
 стоящую методику для практического использования при оценке на-
 пряженно-деформированного состояния внецентренно сжатых железо-
 бетонных элементов в случае больших эксцентриситетов.

1.Роговой С.И., Клименко В.И., Пахомов Р.И. Полная трансформированная диа-
 грамма деформирования бетона при сжатии // 36. наукових праць (Галузеве машинобу-
 дування, будівництво). Вип. 6. Ч. 2. – Полтава: ПДТУ ім. Юрія Кондратюка, 2000. – С.
 127-132.

2.Роговой С.И. К определению предельных деформаций бетона при неоднородном
 сжатии // Бетон и железобетон в Украине. – 2000. – №3. – С. 10-14.

3.Taerve L. Codes and Regulations Utilization of High Strength // High Performance
 Concrete. – 4-th Int. Symp. – Paris, 1996. – p. 93-100.

Получено 15.04.2001

УДК 721.011.185:721.012:721.013

И.И.РОМАНЕНКО, д-р техн. наук

Харьковская государственная академия городского хозяйства

МЕТОДЫ РАЗНОЗАМЕНЯЕМОСТИ В ПРОЕКТИРОВАНИИ ИНДУСТРИАЛЬНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ (ИСС)

Выявлены типологические признаки и даны логико-семантические описания ме-
 тодов разнозаменимости: элементарной диверсификации, агрегатирования – конгломе-
 рирования, фрагментарно-матричного, варибельности, трансформации, доисчерпания и

компенсации несущей способности типовых конструкций, укрупненно-дробных, а также модульных соотношений параметров, "нестандартного" применения сборных типовых изделий, инвертирования и конвертирования изделий серийного производства, их утилизации, гибких технологий производства сборных конструкций и др.

Разнозаменяемость [1, с.178] – не только *свойство*, реализуемое сборкой или заменой элементов, а и *средство* обеспечения различий в ИСС [1, с.178] из сборных и других элементов. В решении научно-технической проблемы "однообразия сборных систем и многономенклатурности сборных элементов" существенное место занимает выявление известных и разработка новых *методов* разнозаменяемости [1, с.182]. Дополнение основ типового проектирования [1, с.177] такими методами с их формализованными описаниями расширяет возможности увеличения многообразия систем из имеющейся в отрасли "суммарной" номенклатуры изделий. Результативность этих методов выше при их "специализации" в образовании различий на *принципе* разнозаменяемости.

Методами разнозаменяемости образуются виртуальные решения архитектурно-конструктивно-технологических систем (АКТС) [1, с.177], из которых отбираются целесообразные реальные ИСС. Разработке таких методов способствуют экспликационно-методологические основы [1, с.190] проектирования.

Метод элементарной диверсификации $M^{\text{ЭД}}$ систем [1, с.183] характеризуется: применением множества взаимозаменяемых (индекс – B) [1, с.178] типовых (индекс – T) сборных элементов $\mathcal{E}C_{nm}^T$; изменением положения этих элементов в системе (здесь фактор многообразия – пространство PP); новой комбинаторикой элементов P_n , A_n^m , C_n^m ; иным функционированием F_h элементов относительно начального функционирования F_k с появлением свойства разнозаменяемости (индекс – P), т.е.

$$M^{\text{ЭД}} \Rightarrow F_k \{ \mathcal{E}C_{nm}^T \}_B \Big|_{PP} \Leftrightarrow F_h^{\text{ЭД}} \{ \mathcal{E}C_{nm}^T \}_P \text{ при}$$

$$F_h^{\text{ЭД}} \rightarrow f(P_n, A_n^m, C_n^m), \quad (1)$$

где P_n – число перестановок из n элементов;

$$A_n^m \text{ – число размещений из } n \text{ по } m; \quad (2)$$

$$C_n^m \text{ – число сочетаний из } n \text{ по } m.$$

В выражении (1) индексы n и m учитывают объем серийных пар-

тий, номенклатуру типов, типоразмеров и марок элементов, т.е. характеризуют их качественно-количественный состав $ККС$ и формо-содержательное выражение $ФСВ$ [1, с.180]. В реальном проектировании на математические величины P_n , A_n^m , C_n^m накладываются функциональные, архитектурно-конструктивные, конструктивно-технологические и другие особенности элементов и систем. Это делает данные величины более логико-семантическими (чем математическими) при образовании тождественных и различных [1, с.178] ИСС.

Метод $M^{\mathcal{E}D}$ позволяет получать новые результаты h (относительно начальных k) при образовании различий в системах из взаимозаменяемых элементов

$$M^{\mathcal{E}D} \Rightarrow F_k \{ \mathcal{E}C_{nm} \}_B |_{P_n, A_n^m, C_n^m} \Leftrightarrow F_h \{ \mathcal{E}C_{nm} \}_P. \quad (3)$$

Приемы разнообразия систем методом $M^{\mathcal{E}D}$ (например, изменение положения элементов, их количества, состава типов и т.д.) характеризуются как "внешние" по отношению к изменяемым системам, т.е. получаемые результаты и причины, их обуславливающие, являются экзогенными. Из этого следует, что возможны приемы разнообразия систем путем образования изменчивости свойств самих элементов, т.е. их $ККС$ и $ФСВ$. При этом элементы сами становятся структурными (т.е. подсистемами). Такое направление преобразования, как эндогенное, создает дополнительные возможности повышения эффекта многообразия [1, с.191] "внутренними" приемами.

На любом "внешнем" уровне структурной сложности системы могут быть также различного уровня "внутренней" структурной составности подсистем. Имеет место одновременное существование двух противоположных направлений получения их различий – экзо- и эндогенный. Очевидны относительность и возможность взаимного перехода (сходимости) этих направлений метода $M^{\mathcal{E}D}$ в зависимости от принимаемой "точки отсчета" в проектировании "внешних" и "внутренних" систем.

Образование системы из номенклатуры элементов совпадает с ее функционированием F , т.е. обеспечением заданной взаимосвязи, взаимодействия $ВСД$ [1, с.179] множества сборных элементов $\{ \mathcal{E}C_{nm} \}$ номенклатуры при определенном $ККС \cup ФСВ$:

$$ВСД \Leftrightarrow F,$$

$$а F \{ \mathcal{E}C_{nm} \} |_{ККС \cup ФСВ} \rightarrow \{ \mathcal{E}C_{nm} \} |_{ККС \cup ФСВ} \text{ при } F = 0. \quad (4)$$

Некоторая начальная (или произвольная) номенклатура в сборе преобразуется (метаморфизмуется) в первичную (или другую) систему, состоящую из несущих (индекс - n) и ограждающих (индекс - o) элементов:

$$F\{\mathcal{E}C_{nm}\} \Leftrightarrow (F\{\mathcal{E}C_{nm}^n\} \cup \{\mathcal{E}C_{nm}^o\}). \quad (5)$$

В выражении (5), если

$$F(\{\mathcal{E}C_{nm}^n\} \subset \{\mathcal{E}C_{nm}^{yn}\}) \cup F(\{\mathcal{E}C_{nm}^o\} \subset \{\mathcal{E}C_{nm}^{yo}\}), \quad (6)$$

то имеет место экзогенная ("внешняя") диверсификация; если же

$$F(\{\mathcal{E}C_{nm}^{\delta n}\} \subset \{\mathcal{E}C_{nm}^n\}) \cup F(\{\mathcal{E}C_{nm}^{\delta o}\} \subset \{\mathcal{E}C_{nm}^o\}), \quad (7)$$

то эндогенная ("внутренняя"), где индексы y и δ - укрупненные и дробные элементы или, соответственно, агрегатируемые и конгломеруемые системы.

Тогда комплексный *метод агрегатирования - конгломерирования* M^{AK} [2, с.182], обеспечивающий разнообразие систем в противоположных направлениях экзогенного - эндогенного (индексы - ЭН, ЭК) развития, имеет выражение

$$M^{AK} \Big|_{ЭН,ЭК} \Rightarrow F(\{\mathcal{E}C_{nm}^{\delta}\} \cup \{\mathcal{E}C_{nm}\}) \uparrow \downarrow F(\{\mathcal{E}C_{nm}\} \cup \{\mathcal{E}C_{nm}^y\}), \quad (8)$$

в котором множество $\{\mathcal{E}C_{nm}\}$ состоит из несущих и ограждающих элементов.

Развитие штучных [1, с.190], в частности, сборных [1, с.187], монолитных [1, с.185] и комбинированных ИСС происходит по всем факторам многообразия [1, с.189]: пространственному PP , материальному MT , движению $ДВ$ и времени $ВР$

$$M^{AK} \Rightarrow (\{\mathcal{E}C_{nm}^{\delta}\} \cup \{\mathcal{E}C_{nm}\}) \uparrow \downarrow (\{\mathcal{E}C_{nm}\} \cup \{\mathcal{E}C_{nm}^y\}) \Big|_{PP,MT,ДВ,ВР}, \quad (9)$$

где $(\{\mathcal{E}C_{nm}\}, \{\mathcal{E}C_{nm}^{\delta}\}, \{\mathcal{E}C_{nm}^y\}) \rightarrow F_k$.

При $F_k^{AK} \rightarrow f(P_n, A_n^m, C_n^m)$, учитывая выражения (1), (2), получим, что $M^{AK} \supset M^{ЭД}$. Кроме того, $M^{AK} \Leftrightarrow M^{ЭД}$, поскольку $M^{AK} \rightarrow \{\mathcal{E}C_{nm}^{\delta}\}^T$ и $M^{ЭД} \rightarrow \{\mathcal{E}C_{nm}^{\delta}\}^T$, т.е. в обоих методах используются типовые T элементы серийного производства. Однако одновременно $M^{AK} \Leftrightarrow M^{ЭД}$, поскольку $F_k^{AK} \rightarrow F_k \Big|_{PP,MT,ДВ,ВР}$, т.е. метод агрегатирования - конгломерирования изменяет системы по всем факторам многообразия, а метод диверсификации ограничен их

изменениями только по положению элементов в пространстве (модульной координационной сетки).

Метод комбинаторики M^{KB} (архитектурно-конструктивной, конструктивно-технологической и т.п.) также содержится в универсальном методе M^{AK} и включает математические методы комбинаторики по выражениям (2), т.е. $M^{KB} \subset M^{AK}$, $M^{KB} \supset (P_n, A_n^m, C_n^m)$, и может быть записан как

$$M^{KB} \Rightarrow F_k \{ \mathcal{E}C_{nm} \} \Big|_{P_n; A_n^m; C_n^m} \Rightarrow F_h \{ \mathcal{E}C_{nm} \}, \quad (10)$$

где индекс h – иное функционирование F (отличное от k).

В полном охвате методом комбинаторики различных (не только сборных) ИСС вместо множества элементов сборных $\{ \mathcal{E}C_{nm} \}$ должны быть штучные $\{ \mathcal{E}Ш_{nm} \}$, монолитные $\{ \mathcal{E}М_{nm} \}$, комбинированные, например, $\{ \mathcal{E}СШ_{nm} \}$, $\{ \mathcal{E}СМ_{nm} \}$ и другие (например, по агрегатному состоянию – индексы: твердые T , жидкие $Ж$, газообразные $Г$, комбинированные $ТЖ$, $ТГ$ и т.д.).

Метод фрагментарно-матричный $M^{ФМ}$ конструирования [1, с.182] характеризуется: образованием систем из упорядоченной совокупности элементов ($\mathcal{E}C_{nm}$); по всем факторам многообразия ($ПР$; $МТ$; $ДВ$; $ВР$) и их составляющих (1, 2,...); относительно типовых (в общем случае – относительно известных) решений; различия образуют по выбранным фрагментам Φ_r (элементов, функций, систем, их свойствам и т.д.) новых решений, т. е.

$$M^{ФМ} \Rightarrow \left(\frac{\mathcal{E}C_{nm}; F; F(\mathcal{E}C_{nm})}{\Phi_r} \right) \Big|_{ПР(1,2,...); МТ(1,2,...); ДВ(1,2,...); ВР(1,2,...)} \Leftrightarrow \overline{(\mathcal{E}C_{nm}; F; F(\mathcal{E}C_{nm}))_T}. \quad (11)$$

Метод трансформации M^{TP} как метод равнозначности характеризуется: упорядоченной совокупностью сборных элементов ($\mathcal{E}C_{nm}$); неизменностью состава системы из них; кинематической взаимосвязью (индекс – $KС$) элементов в системе как формой функционирования; переходом системы из одного состояния в другое с получением вследствие этого нового результата; преобразование системы относится к ее физическому объему – фактору пространства

$$M^{TP} \Rightarrow (F_k^{KC}(\mathcal{E}C_{nm}))_T |_{PP} \Rightarrow (F_h^{KC}(\mathcal{E}C_{nm}))_P |_{PP}, \quad (12)$$

где $(\mathcal{E}C_{nm})_T \Leftrightarrow (\mathcal{E}C_{nm})_T$ при $F_k \neq F_h$, а при $F_k \rightarrow F_h$ $(\mathcal{E}C_{nm})_T \Leftrightarrow (\mathcal{E}C_{nm})_T \Rightarrow (\mathcal{E}C_{nm})_P \rightarrow 3_P$. Здесь индексы T, P – тождественный, различный, а 3_P – равнозаменимость как свойство системы.

По выражению (12) можно предположить, что трансформации систем возможны также по другим факторам многообразия – MT, BP, DB при соответствующих архитектурно-конструктивно-технологических решениях.

Метод варибельности свойств M^{BC} (геометрических, прочностных, теплотехнических и др.) как метод равнозаменимости реализуется, в частности, на стадии (индекс – T) изготовления (подиндекс – I) сборных изделий и отличается непостоянством заданных проектных характеристик

$$M^{BC} \Rightarrow \{\mathcal{E}C_{nm}\} |_{T_I} \rightarrow G_o \rightarrow \text{var}, \quad (13)$$

где G_o – обобщенное свойство изделия.

Принимая, например, $G_o \rightarrow F_o |_{T_P}$ (где F_o – несущая способность строительных конструкций, T_P – стадия проектирования), получаем частные методы варибельности доисчерпания и компенсации несущей способности типовых конструкций: при

$$G_o \rightarrow \{L_o; B_o; H_o\} = NM_\Gamma, \text{ где } N \rightarrow 6, 12, 18, \dots, 60 \text{ получим}$$

$$M^{BC} \Rightarrow M^{УК} \quad (14)$$

– метод укрупненных модульных габаритных параметров сборных ИСС, которым характеризуется практика типового проектирования периода индустриализации строительства с цикличными гибкими технологиями, а при

$$G_o \rightarrow \{L_o; B_o; H_o\} = (N \pm m)M_\Gamma, \text{ } n \rightarrow 1, 2, 3, \dots, 9 \text{ получим}$$

$$M^{BC} \Rightarrow M^{УД} \quad (15)$$

– метод укрупненно-дробных модульных параметров сборных ИСС, соответствующий резательным непрерывным технологиям. В выражениях (14), (15) M_Γ – основной геометрический модуль, равный 100 мм в стандартной Модульной координации размеров в строительстве (МКРС).

Метод доисчерпания $M^{ДН}$ и метод компенсации $M^{КН}$ несущей способности типовых строительных конструкций – частные случаи метода варибельности свойств M^{BC} элементов и систем по их

несущей способности F_o :

$$M^{ДН} \subset M^{BC} \Big|_{F_o}, M^{КН} \subset M^{BC} \Big|_{F_o} \text{ при этом } M^{ДН} \uparrow \downarrow M^{КН}. \quad (16)$$

Методы $M^{ДН}$ и $M^{КН}$ сходятся: с методом $M^{УД}$ по геометрическим параметрам, когда $\{L_o; B_o; H_o\} \rightarrow \text{var}$, например, при вариабельности фактического (индекс – Φ) шага B_Φ , пролета L_Φ и высоты H_Φ ; или с методом $M^{УД}$ по структурному составу при вариабельности количества элементов n_M с модульной несущей способностью элементов. Эти и аналогичные им частные методы в Обобщенной модульной координации в строительстве (ОМКС) [1, с.185] имеют параметры, кратные обобщенному модулю M_o , например,

$$\begin{aligned} G_o / G_\Phi &= nM_o; \{L_o / L_\Phi; B_o / B_\Phi; H_o / H_\Phi\} = nM_\Gamma; \\ R_o / R_\Phi &= nM_o; D_o / D_\Phi = nM_o, \end{aligned} \quad (17)$$

где R_o – обобщенное теплотехническое свойство ограждающих конструкций; D_o – обобщенная долговечность элементов и систем и т.д.

Метод укрупненно-дробных параметров $M^{УД}$ (объемно-планировочных, прочностных, теплотехнических, структурных и др.) как метод разноразмерности – частный случай метода вариабельности свойств $M^{УД} \subset M^{BC}$; применительно к упорядоченным элементам и системам

$$M^{УД} \Rightarrow (\mathcal{E}C_{nm}^{УД}; F_{nm}^{УД}; F^{УД}(\mathcal{E}C_{nm}^{УД})) \Big|_{P_o} \rightarrow f(P_o), \quad (18)$$

где P_o – обобщенная составляющая (любая) укрупнения – дробления, например, $P_o \rightarrow \{L_o; B_o; H_o\}$; $P_o \rightarrow G_o$; $P_o \rightarrow R_o$; $P_o \rightarrow D_o$ и т.д.

Метод модульного соотношения несущей способности M_M^{CH} – частный случай метода укрупненно-дробных параметров $M^{УД}$ или метода вариабельности свойств M^{BC} (размеров элементов, теплотехнических характеристик и т.д.)

$$M_M^{CH} \subset M_M^{УД} \subset M_M^{BC}. \quad (19)$$

Метод "нестандартного" применения $M^{НС}$ типовых сборных изделий [1, с.182] – частный случай метода элементарной диверсифи-

кации $M^{\mathcal{E}D}$, так как в обоих методах применяются типовые (индекс – T) изделия, образуются различия (новое функционирование – F_h) в системах, но первый относится к области эвристических решений и применяется на стадии проектирования – T_{II} . Тогда

$$M^{HC} \subset M^{\mathcal{E}D} \Big|_{T_{II}} \Rightarrow F_h^{\mathcal{E}D} \{ \mathcal{E}C_{nm}^T \} \Big|_{T_{II}}. \quad (20)$$

В приемах образования различий в системах представлено одно-значное конструктивно-функциональное использование элементов – по их прямому назначению. При "нестандартном" применении типовых элементов повышается эффект многообразия систем с сокращением номенклатуры изделий.

Методы инвертирования M^{IB} и конвертирования M^{KB} соответствуют применению изделий стройиндустрии в строительстве по другому назначению (инверсия) и применению в строительстве промышленных изделий, выпускаемых другими отраслями (конверсия), т.е

$$M^{IB} \Rightarrow F(\mathcal{E}C_{nm})_{OC} \Big|_{OC}, \quad M^{KB} \Rightarrow F(\mathcal{E}C_{nm})_{HC} \Big|_{OC}, \quad (20), (21)$$

где индекс OC – отрасль строительства; HC – не строительные (другие) отрасли промышленного производства.

Метод инвертирования по определению сходится с методом "нестандартного" применения типовых строительных конструкций при использовании их в одной области:

$$\text{при } M^{IH} \Rightarrow F(\mathcal{E}C_{nm}^T) \Big|_{НП} \Leftrightarrow M^{HC}, \quad (22)$$

где индексы: T – типовые сборные элементы; $НП$ – новое применение; $(\mathcal{E}C_{nm})$ – упорядоченная совокупность типовых сборных элементов.

Метод конвертирования позволяет расширить номенклатуру изделий, применяемых в строительстве, не производя их в этой отрасли, и повысить разнообразие ИСС. При этом увеличиваются серийность выпуска изделий в смежных отраслях, снижается себестоимость этих изделий.

Метод утилизации элементов M^{UT} . Утилизация как повторное применение изделий промышленного производства с другими их свойствами (из-за износа) представляется методом разнотипности. Метод характеризуется стадией существования – T_y ; отличиями работы изделий по факторам многообразия систем – во времени BP (после первой эксплуатации), в движении $ДВ$ (в других взаимосвязях элементов), в пространстве $ПР$ (в других системах) и в материальном MT (те

же изделия, но с износом),

$$M^{UT} \Rightarrow F^H (\mathcal{E}C_{nm}^T)^H |_{T_y}; \text{ при } T_y |_{MT; PR; ДВ; ВР}, \quad (23)$$

где индекс H – новые: функциональная взаимосвязь, взаимодействие; состояние сборных элементов; системы в целом.

Конструктивные решения с применением некондиционных изделий заводов ЖБК или конструкций, получивших повреждения при транспортировке и монтаже, могут быть многообразными по функционально-технологическому применению.

Метод утилизации может потребовать инженерных расчетов новых ИСС. Нужны также предложения по взаимосвязям элементов, их устойчивости, а также по дополнению мелкоштучными изделиями или монолитными участками, по эстетизации архитектурными приемами и пр. Метод утилизации может удовлетворить определенные потребности в строительстве.

Методы гибких технологий M^{IT} . Архитектурно-конструктивные методы разнотипности элементов и систем на стадии их изготовления и конструктивно-технологические методы (раздельного бетонирования, вариативности свойств материала конструкций и др.) сходятся в разрешении проблемы "однообразия систем и многономенклатурности элементов" с методами гибких технологий. Принцип разнотипности находит здесь дополнительную область своей реализации не со стороны архитектурно-строительного проектирования, а со стороны технологии и организации строительного производства. Использование в технологии производства на стационарных заводах системы предельных параметров – СПП, а на мобильных – МКРС является одним из примеров такой сходимости в серийном производстве типовых изделий для сборных ИСС и монолитных типовых ИСС.

Гибкие технологии в аспекте принципа разнотипности отражают сборность с учетом фактора времени – на стадии изготовления конструкций T_H и материального фактора M_T – в отношении твердеющей массы (т.е. еще несборных изделий), а также применительно к металлоформам как сборным изделиям промышленного производства.

Методы гибких технологий для сборных ИСС можно описать как

$$M^{IT} \Rightarrow (\{\mathcal{E}C_{nm}\} F \{\mathcal{E}C_{nm}\}) |_{T_H} \text{ при } T_H |_{MT; PR; ДВ; ВР}. \quad (24)$$

В частности, при $T_H |_{MT} \rightarrow G_o \rightarrow \text{var} \Rightarrow M^{BC}$ – метод вариативности свойств; при $T_H |_{MT} \rightarrow (N \pm n) M_T \Rightarrow M^{UD}$ – метод укрупненно-дробных параметров, обеспечиваемый резательной техно-

логией.

Имеются и другие методы разнотипности: *метод рекомбинаторных преобразований*, применяемый, например, в сборно-разборных ИСС, *метод базовых систем* – в типовых каркасах с различными "навесными" строительными элементами; общеметодологические методы: *метод универсализации – специализации, метод преемственности – обновления* и т.д.

1. Романенко И.И. Терминология экспликационно-методологических основ проектирования индустриально-строительных систем // 36. наук. праць: Науковий вісник будівництва. Вип. 4. – Харків: ХДТУБА, 1998. – С.175-191.

Получено 13.04.2001

УДК 624.012.45

А.В. ГРИШИН, В.С. ДОРОФЕЕВ, д-р техн. наук

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

РАСЧЕТ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК С УЧЕТОМ УПРУГОПЛАСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ИХ МАТЕРИАЛА ПРИ ИМПУЛЬСНЫХ НАГРУЗКАХ

Исследуется напряженно-деформированное состояние железобетонных балок при действии на них импульсных нагрузок. Для бетона и арматуры учитываются как упругие, так и пластические их свойства. Разработан алгоритм решения, в котором дискретизация задачи выполнена методом конечных элементов, а узловые перемещения определяются из итерационного процесса, построенного по неявной схеме интегрирования. Приведены численные результаты и дан их анализ.

Динамика балок исследовалась во многих работах, например, в [1,2,3]. Нами эта задача рассматривается в иной постановке: во-первых, бетон и арматура принимается не как усредненная среда, а как трехслойная, причем заданный процент армирования не изменяется; во-вторых, используется теория пластичности с упрочнением, базирующаяся на принципе максимума Мизеса [4]. В качестве функции нагружения для бетона применяется условие Гензеля [5], а для металла – условие Писаренко-Лебедева [6]. Такая постановка позволяет учесть реальные свойства материалов балки. В-третьих, классические статическая и геометрическая гипотезы балок не учитываются, а рассматривается плоское напряженное состояние. Это вызвано тем, что при произвольной нагрузке в балках возникают сложные волновые процессы, для которых в связи с нелинейностью задач принцип суперпозиции применять нельзя. Например, сумма отдельных напряженно-деформированных состояний от продольных и поперечных волн не будет равна результату при их одновременном воздействии. Такой подход позволяет не только рассматривать колебания балки, но и изу-